

履歴型ダンパーを用いた鋼製橋脚橋の制震問題に関する検討

東京都立大学大学院工学研究科 学 佐藤 尚友
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正 東 洋平
 東京都立大学大学院工学研究科 正 長嶋 文雄

1. はじめに

最近、地震エネルギー吸収装置を構造物内に組み込んで、耐震性を向上させる制震構造が注目されており、建築においては既に実用化も進んでいる。鋼製橋脚橋に極低降伏点鋼履歴型サイスミックダンパーを用いたときの制震問題について、ケーススタディを通して検討を試みた。

2. 履歴型サイスミックダンパー

せん断タイプの履歴型サイスミックダンパーを使用するには相対変位が必要となる。設置位置に関する検討の結果、可能性のある設置箇所として橋脚基部を選んだ。曲げ変形からせん断変形を抽出するために、基部固定部の他は、図-1 に示すように橋脚本体と縁を切った構造とした。幅厚比 80 の $2 \times 3\text{m}$ の長方形パネルを2枚組み合わせることで全方向に対応させることもできる。サイスミックダンパーは履歴型ばね要素とし、ばね特性は Ramberg-Osgood 型でモデル化した。

3. 非線形時刻歴応答解析

3.1 解析モデルと解析方法

橋脚モデルは、図-2 に示すような 5 径間連続鋼製橋脚橋のうちの 1 つを取り出し、1 本柱モデル(図-3 参照)とした。橋脚高さは 20m、断面は旧設計示方書に基づいて設計したもを用いた。また橋脚に対して曲げに関する非線形性を持たせた。その曲げモーメント-曲率関係は図-4 のようなバイリニア型で表わし、図-5 の応力度-歪み関係を用いた断面分割法により算出した。支承モデルは、免震支承では等価剛性と等価減衰定数を持つ線形ばねでモデル化し、非免震では支承を表わすばねの剛性を十分大きくすることでモデル化した。構造減衰は 0.015 とし、基礎のばねは良質な地盤に対するばね定数を用い、その減衰定数は並進、回転共に 0.1 とした。

以上のモデルに対して動的応答解析を行い、サイスミックダンパー及び免震支承による耐震安全性を検討した。入力地震波は、表-1 に示すようにⅡ種地盤用のプレート境界型(Type1)3 波と内陸直下型(Type2)3 波の計 6 種類を用いた。また、それぞれの入力地震波に対して非免震・免震とダンパーの有無の組み合わせ 4 ケース、計 24 ケースについて解析を行った。解析は直接積分法で、時間刻みは 0.002 秒とした。

3.2 耐震安全性の評価方法

耐震安全性の評価は指標として耐震安全性評価値 $\alpha = \phi_{max} / \phi_u$ を用いて表し、 α が 1 を超える場合に橋脚基部は極限状態に達したものと判断する。ここで ϕ_{max} は最大応答曲率、 ϕ_u は圧縮側が降伏 (ϕ_y) した後に引張側端部が降伏する時の限界曲率である。(図-6)

表-1 入力地震波

プレート境界型 Type1	1- -1	1968 年	日向灘沖地震	板島橋周辺地盤 (LG 成分)
	1- -2	1968 年	日向灘沖地震	板島橋周辺地盤 (TR 成分)
	1- -3	1994 年	北海道東方沖地震	温根沼大橋周辺地盤上 (TR 成分)
内陸直下型 Type2	2- -1	1995 年	兵庫県南部地震	JR 鷹取駅構内地盤上 (NS 成分)
	2- -2	1995 年	兵庫県南部地震	JR 鷹取駅構内地盤上 (EW 成分)
	2- -3	1995 年	兵庫県南部地震	大阪ガス荻合供給所構内地盤上 (N30W 成分)

キーワード: 制震・免震、極低降伏点鋼、履歴型サイスミックダンパー、鋼製橋脚橋

連絡先: 〒192-039 東京都八王子市南大沢 1-1

東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL:0426-77-1111 内(4531) FAX:0426-77-2772

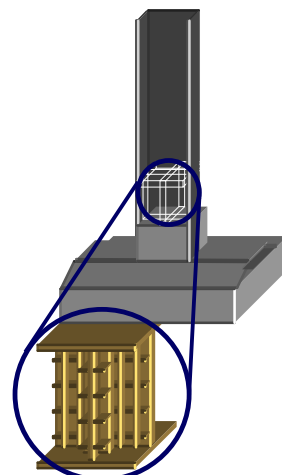


図-1 モデル図

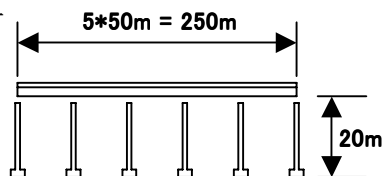


図-2 5径間連続橋

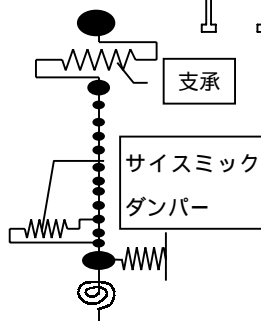


図-3 1本柱モデル

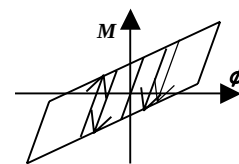


図-4 橋脚の M - φ 関係

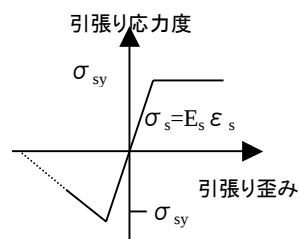


図-5 鋼材の応力 - 歪み関係

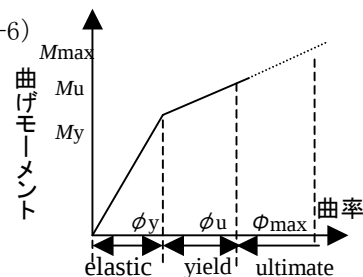


図-6 橋脚基部の状態判定

4. 動的応答解析結果

4.1 橋脚基部の耐震安全性の評価

各ケースに対する耐震安全性評価値 α の値を図-7に示す。入力地震波の種別によるダンパーの効果と比較すると、プレート境界型地震(Type1)ではダンパーの効果が大きく、内陸直下型地震(Type2)では効果が小さいことが分かった。また免震の効果と比較すると、逆に Type1 では免震の効果が小さく、Type2 では効果が大きくなった。また、免震とダンパーを組み合わせた場合、どちらの地震波の種別においても α が1以下になることが判った。

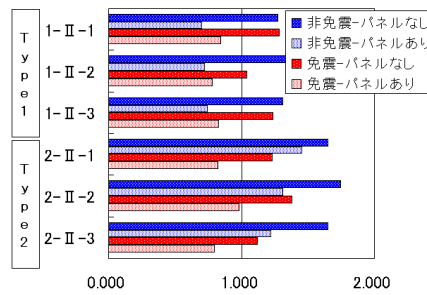


図-7 耐震安全性評価値 α

4.2 入力地震波の種別による制震および免震効果の差異に関する考察

上述の結果について、その原因を調べるために、まず吸収エネルギーの観点から考察を試みる。

図-8は入力地震波の種別における(a)入力地震波、(b)ダンパーの履歴曲線、(c)ダンパーの各サイクルの吸収エネルギーを示している。Type1は主要動の継続時間が長く、波の繰り返し数が多いのに対し、Type2は主要動の継続時間が短く、最大振幅が大きい。この入力波の繰り返し数が履歴型ダンパーダンパーの効きに関係するのかを調べるために、履歴曲線(b)の累積面積を比較した。その結果、Type1では171.46(tf・m)、Type2では199.96(tf・m)となり、ほぼ同程度か、効きが悪いと思われたType2の方がむしろ吸収エネルギーは大きいことがわかった。また、1サイクルごとの吸収エネルギー(c)を見ても、やはりType2においてダンパーが良くエネルギーを吸収していることがわかる。以上より地震波の種別に関してダンパーの効きに差異はなく、原因は別にあると判断された。

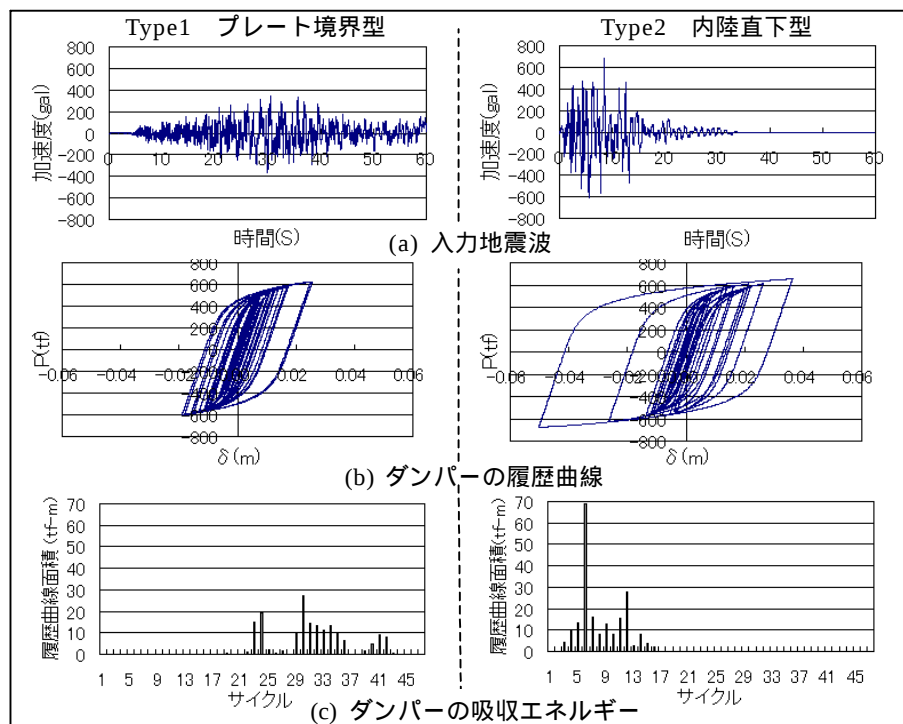


図-8 入力波形とダンパーの吸収エネルギーの比較

次に加速度応答スペクトル(図-9)の観点から免震、ダンパーの効果の差異について考察を試みた。(a)は減衰が5%のときの各入力地震波に対する加速度応答スペクトルで、図中の破線は非免震・免震での橋脚の固有周期を表す。免震化によって、Type2の応答値がかなり減少する。つまり、内陸直下型地震に対して免震構造が効果的であることがわかる。(b)は、Type1, 2について減衰定数を1.5%から5%に変化させたときの加速度応答スペクトルである。非免震の場合、種別に関わらず、高減衰化により応答値が下がる。しかしType2は高減衰化をしても、応答値はType1に比べて大きい。このときには、サイスミックダンパーによる高減衰化に加え、免震化によって応答値を下げればよい。

5. まとめ

鋼製橋脚橋に履歴型サイスミックダンパーを設置したときの耐震安全性

の評価を行い、制震設計の可能性について示した。また、入力地震波の種別によるサイスミックダンパーの効きの違いについて考察したところ、原因は波の繰り返し数ではなく、入力波と構造物の周波数特性に密接な関係があることがわかった。

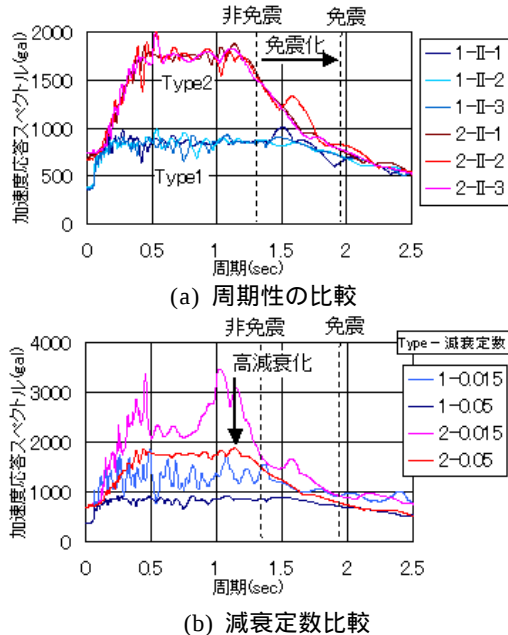


図-9 加速度応答スペクトル